

基于陆路交通网的空间通达性分析

——以兰州—西宁城市区域为例

白永平 吴常艳 陈博文

(西北师范大学地理与环境科学学院,甘肃 兰州 730070)

摘 要:以兰州—西宁城市区域交通路网为例,基于空间句法模型、日常可达性模型和等时圈通过特征点算法,试图运用GIS技术将节点、轴线和域面结合起来对通达性进行全面阐述,多视角综合测度区域路网通达性的空间格局。研究结果表明:1. 区域路网体系较为完善,路网线段集聚相对明显;线段式空间伸展格局呈“点—轴”状,轴线式空间伸展格局呈“干—枝”状,初步形成核心、过渡、外围三大等级圈层以及“X”字型路网骨架,区域交通运输与城镇发展水平表现出较强的共轭协同发展关系。2. 等时圈沿国道、省道、县道扩散表现连续,沿封闭铁路、高速公路扩散出现跳跃,其等时圈空间特征多呈现“枝—叶”状。城镇日常可达性在较大程度上取决于区域中心性、周边路网发达程度和城镇密集程度,区域路网单中心极化现象比较明显,兰州市对整个区域路网的控制作用较为突出。3. 区域通达度空间分布各异,核心板块破碎而外围板块连片。区域通达性差异极其显著,出现极高值区和极低值区;兰州与西宁通达度中高值区出现断裂,区域南部通达度极低值区连片成带。因此,应当构建兰州地区绕城高速和环状路网,实现路网交通的适度分流;加快兰州—西宁高等级快速交通建设,推进兰州—西宁区域一体化进程;建设兰成铁路和兰州至云南磨憨口岸高速通道,培育临夏为南部区域性中心城市。

关键词: 通达性; 路网; 空间句法模型; 日常可达性模型; 等时圈通过特征点算法; 兰州—西宁城市区域

中图分类号: F129.9

文献标志码: A

通达性作为度量交通网络结构的有效指标,也是评价区域获取发展机会和控制市场能力的有效指标之一,在区域发展和交通网络的关系研究中一直是学界关注的研究热点^[1-6]。以往研究方法多为距离度量^[7-8]、重力度量^[9-10]、拓扑度量^[11-12]等计量方法以及GIS空间插值方法^[13]和基于图论思想下的空间句法等^[14-15],限于技术的原因,使得在描述通达性的空间分布时不仅准确度欠佳,而且没有将节点、轴线和域面结合起来进行分析。因此,本文以兰州—西宁城市区域交通路网作为实例,融合空间

句法模型、日常可达性模型以及等时圈通过特征点算法,运用GIS技术多视角系统测度经济区路网通达性的空间规律,旨在为兰州—西宁城市区域交通规划和区域发展提供理论与实证借鉴。

1 研究区域和数据来源

兰州—西宁城市区域地处我国省会城市空间距离最近的省际毗邻交界区域,是甘青两省人口、城镇、产业集中的经济重心和精华地带;位于我国内陆

收稿日期(Received date): 2012-10-28; 改回日期(Accepted): 2013-01-30。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(40771054), 高等学校博士学科点专项科研基金联合资助课题(20106203110002), 西北师范大学知识与科技创新团队项目(nwnu-kjcxgc-03-50)和2011年甘肃省社科规划重大招标项目《新形势下改善和优化甘肃投资环境研究》课题资助。[Supported by National Natural Science Foundation(40771054), the Joint Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education(20106203110002), the Fund for the Knowledge, Science and Technology Creative Research Groups of Northwest Normal University(nwnu-kjcxgc-03-50) and the 2011 Gansu Province's Social Science Fund Project of Great Invitation on Public Bidding "the Research of New Situation to Improve and Optimize the Investment Environment in Gansu Province".]

作者简介(Biography): 白永平(1961-),男,江苏南京人,博士,教授,主要从事区域发展与规划的研究。[Bai Yongping(1961-), male, born in Nanjing of Jiangsu, Ph.D., Professor, engaged in the research on regional development and planning.] E-mail: baiyp@nwnu.edu.cn

腹地陇海—兰新铁路和京包—包兰—兰青—青藏铁路交汇的“X”型枢纽区域,是国家能源重化工基地和重要进口通道;具有内地汉族与边疆少数民族交往融合的门户作用,是黄河上游多民族经济开发区的核心地带和维护国防安全的战略要地;属于我国青藏高原高寒区、西北干旱区和东部季风区三大自然区的过渡地带,是保障国家生态安全的重点生态建设区域。研究区域包括甘肃省兰州市、白银市、临夏回族自治州以及定西市的安定区、通渭县、陇西县、渭源县、临洮县、武威市的天祝县和青海省西宁市、海东地区以及黄南藏族自治州的尖扎县、海南藏族自治州的贵德县等 42 个县(市、区),面积 $8.88 \times 10^4 \text{ km}^2$ 2009 年人口 $1\,347.91 \times 10^4$ 人。研究区以县域为研究单元,这里将兰州市所辖远郊区(红古区)单独列为一个研究单元,其余 4 区(城关区、七里河区、西固区、安宁区)构成一个研究单元,西宁市所辖 4 区(城东区、城中区、城西区、城北区)构成一个研究单元,故实际研究单元为 36 个县(市、区)。

数据包括河流水系、铁路、高速公路、国道、省道和县道,分别来自原国家测绘局 2008 年编制的《中华人民共和国 1:400 万铁路交通版》地图和成都地图出版社 2008 年出版的《中国公路交通图集》,提取地图要素并矢量化(图 1)。

道路通行速度来源于《中华人民共和国公路工程技术标准(JTGB-2006)》规定的道路设计速度,结合区域实际情况而定。通行时间成本按照不同交通方式或道路通行 10 km 里程所花费的时间而定(表 1)。

2 研究方法

2.1 空间句法分析

空间句法模型本质上是基于拓扑距离的网络通达性和关联性,其根本思想是将空间之间的相互联系抽象为连接图,再根据图论基本原理,对轴线或节点的通达性进行拓扑分析,最终导出一系列的形态分析变量。

1. 连接度 C_i 。在连接图上,连接度表示与轴线 i 相连的轴线数,反映了轴线在整个拓扑网络中的连接能力。其计算公式为

$$C_i = k \quad (1)$$

式中 k 表示与轴线 i 直接相连的轴线个数。

2. 控制值 $ctrl_i$ 。控制值表示轴线 i 对与之相连的轴线的控制程度,反映了该轴线对其他轴线的影晌程度或控制能力。从数值上看,它等于连接度的倒数,其计算公式为



图 1 研究区域路网概况

Fig. 1 Traffic network in Lanzhou-Xining city region

表1 不同交通方式与用地类型的相对时间成本值设置

Table 1 Relative time cost of different types of transportation modes and land use

空间对象	陆地	县道	省道	国道	铁路	高速公路	河流	湖泊水库
速度/(km/h)	20	30	60	80	90	120	—	—
时间成本/min	30	20	10	7.5	6.7	5	300	600

$$ctrl_i = \sum_{j=1}^k \frac{1}{C_i} \quad (2)$$

3. 深度值 D_d 。深度值是指网络中某一轴线到达其他所有轴线的最少连接次数。设网络中一轴线到其他任意轴线的最少连接次数为 d (d 为整数, $1 \leq d \leq s$), 连接轴线数为 N_d , 则深度值可表示为

$$D_d = \sum_{d=1}^s d \times N_d \quad (3)$$

式中 当 $d=1$ 时, 表示与指定轴线直接相连的轴线数, 此时深度值为一步深度值, 即为连通值; 当步距离逐渐增大时, 深度值也逐渐增大, 此时深度值为局部深度值; 当 $d=s$ 时, 此时深度值为全局深度值。

一般分析时常用平均深度值 \bar{D} , 其计算公式为

$$\bar{D} = \frac{D}{n-1} \quad (4)$$

式中 n 是待考察网络的轴线个数, $n-1$ 反映了在考察的轴线中最多有 $n-1$ 个轴线与指定轴线相连。

4. 集成度 RA_i/RA_i 。集成度表示网络中某一轴线与其他轴线集聚或离散的程度。反映了从某一轴线出发, 遍访空间中其他各轴线所需的总步数。一般而言, 当集成度的值 >1 时, 轴线的集聚性就较强; 当集成度的值介于 $0.4 \sim 0.6$ 时, 轴线布局则较为分散。根据轴线选择范围大小, 集成度可分为局部集成度 RRA_i 和全局集成度 RA_i 。全局集成度表示一条轴线和其他所有轴线的拓扑关系, 而局部集成度则表示某一轴线与距其几步 (通常是三步) 范围内轴线之间的相互关系, 其计算公式为

$$RA_i = \frac{2(\bar{D}-1)}{n-2} \quad (5)$$

$$RRA_i = \frac{RA_i}{D_n} \quad (6)$$

式中 n 为网络内总轴线数, \bar{D} 为平均深度值, 且有

$$D_n = \frac{2\{n[\log_2((n+2)/3)-1]+1\}}{(n-1)(n-2)} \quad (7)$$

2.2 日常可达性分析

日常可达性是指两节点间由于距离和时间的成本所产生的 1 d 内的人流和物流。由于交通设施的改善会使两节点间的时间成本降低, 从而带动两地

间的人口和货物的流动, 形成 1 d 内可来往的工作圈和生活圈。日常可达性可用活动的人流或物流流量来度量, 也可采用日常经济活动的最大通行范围来表示^[16], 本文采用后者。

2.2.1 评价指标

区域可达性评价指标可表示为

$$A_i = \sum_{j=1}^d T_{ij}/d \quad (8)$$

式中 j 为区域中的节点, T_{ij} 为区域中节点 i 通过交通网络中通行时间最短的路线到达 j 的通行时间, d 为点的个数, A_i 为节点 i 的可达性。

为了便于比较节点的可达性, 按照公式对可达性进行归一化处理, 处理后分值越大, 可达性越好

$$P_i = 100 - \frac{A_i - \min(A_i)}{\max(A_i) - \min(A_i)} \times 100 \quad (9)$$

式中 P_i 为可达性的分值, A_i 为可达性, $\min(A_i)$ 为可达性的最小值, $\max(A_i)$ 为可达性的最大值。

2.2.2 技术路线

主要通过以下计算步骤来实现:

1. 最短时间距离算法。基于栅格数据类型设置随机搜索策略。设置出发点 i 为 P_i , 目标点 j 为 P_j , 在从出发点放出 n_i 个搜索点的同时, 从目标点放出 n_j 个搜索点, 搜索半径为 $\sqrt{2}L$ (L 为栅格长度), 两个城市的搜索点相向并行搜索, 由 $n_i + n_j$ 个搜索点共同完成一条最优路径的搜索

$$T_{ij}^n = \sum_{k=1}^m \frac{D_{ki}}{V_{ki}} + \sum_{k=1}^m \frac{D_{kj}}{V_{kj}} \quad (10)$$

式中 T_{ij}^n 为搜索点 n 从 i 点到 j 点的通行时间, $D_{ki(j)}$ 为 $i(j)$ 点使用交通工具 k 的通行距离, $V_{ki(j)}$ 为点 $i(j)$ 使用交通工具 k 的通行速度, m 为交通方式与用地类型数, 这里取 7, 分别为河流、湖泊、县道、省道、国道、高速公路和铁路。当在搜索点 $i(j)$ 搜索半径内 $V_{ki(j)} > V_{(k-1)i(j)}$, 则搜索点自动跳转搜索速度, 沿着 $D_{(k-1)i(j)}$ 进行搜索, 直至 $i-j$ 相遇。搜索完毕后自动列队, 选取最短的 T_{ij}^n 为 $i-j$ 点最短时间距离。

2. 封闭铁路、高速公路技术处理。铁路和高速公路并不是完全开放的, 它们所提供的服务是基于铁路站点和高速公路互通出入口的, 传统网格与相

邻网格直接相通,使得计算时只要有铁路或高速公路通过都可以直接穿过或者进入,这与事实不符。因此,需要对上述算法进行修正。

首先在路网中分别设置站点 a 和互通出入口 b 坐标数据,指定 a 、 b 点的通行类别,假定陆路交通阻抗极大且为 L_n ,交通阻抗为 L_k :

case1. i 点未与交通直接相连,由于此时 $L_k < L_n$ 且差值较大,则 i 点在阻抗 L_n 中难以通行,通过式(10)计算至 a_i 点的时间距离 $aT_{ij(\min)}^n$,然后直接通过式(10)进行循环 case1 计算,得到结果 $T = \min [c1T_{ij(\min)}^n + aT_{ij(\min)}^n]$ 。

case2. i 点未与交通直接相连,此时 i 点在阻抗 L_k 中直接通行,由于 $L_k < L_n$,使得 i 点难以离开 L_k 前进,则直接以式(10)进行计算;若行进途中断裂,则进入 case1 计算,得到结果 $Y = \min [c2T_{ij(\min)}^n]$ 。上述计算结果叠加分析,则可得到站点跳跃扩散的处理,然后带入最短时间距离算法中进行修正即可,修正后可以从图中明显看到一条条与周围扩散值不一样的细线,表示铁路、高速公路等交通线的可达性变化以及在站点和互通出入口的扩散。

基于上述算法,采用 C++ 语言与 ArcGIS 空间分析集成,计算区域日常可达性,可以得到日常可达性等值圈,进行标准化处理后即可表示为节点等时圈扩散图。

3 路网空间通达性分析

通过分别应用线段式和轴线式方法对路网的划分,线段式共有线段 325 条,轴线式共有轴线 111 条。线段式主要给出局部精确而较为细微的分析,关注拓扑角度以及路程关系。线段式的连接度、三步深度值和集成度均低于轴线式,反映了区域内路网的密集程度和交通繁忙路段。轴线式主要给出整体宏观而较为粗略的分析,关注拓扑关系^[17]。句法变量均值除深度值外均大于线段式,反映了区域内主要路网的通达程度和城镇之间的连接程度。通过对空间句法变量的分析,集成度反映了轴线与其他节点的集散程度,体现了其中心性和渗透性,能较好的拟合区域空间交通的整体通达性(表 2)。

3.1 线段式空间

3.1.1 线段式空间伸展格局呈“点-轴”状,集聚明显

以兰州、西宁、白银和定西为中心,集聚了高集

成度线段($RA > 2.6$)共 54 条,占总数的 16.62%。线段高集成度城市直接与区域性主干交通线相连,且交通方式综合,路网较为发达,处于区域中心位置。4 个城市周围强控制力($C > 5$)和高深度值($D_3 > 21$)线段分布较为密集。线段网络空间围绕节点城市呈“点-轴”式放射状分布,仅节点城市通达性较好,不利于地区一体化发展。

表 2 陆路空间句法变量均值

Table 2 The variable of average value about space syntax for traffic network in land

变量	C	$ctrl$	D_3	深度值	RA
线段式	2.98	1.02	14.52	2350.09	1.76
轴线式	3.98	0.96	34.83	312.02	2.13

3.1.2 路网线段连接呈非均衡态势,路网伺服能力有待完善

兰州-西宁城市区域路网发育不均衡, C 最大为 11,最小为 0,大于均值的线段占总线段的 42.36%,大多分布于兰州、西宁、白银、临夏东部和定西西部。兰州周边路网过于密集,对整个区域路网控制较弱,应对突发网络“拥堵”的能力不强,路网的有效性受到不小影响;西宁周边路网相对合理,但大多深度值过大,路网联系不够密切。按照空间句法变量的均值划分, $RA > 1.76$ 的线段占总数的 44.3%, $ctrl > 1.02$ 的线段占总数的 36.3%, $D_3 > 14.52$ 的线段占总数的 36.9%。小于均值的线段数约占 2/3,大多为与交通流量较小的县级单元连接的省道和县道。大于均值的线段数约占 1/3,大多为与交通流量较大的市级单元连接的铁路、高速公路和国道。总的来看,路网伺服能力有待完善。

3.1.3 路网线段连接存在显著等级差异

从整体来看,线段连接形成明显的 3 个等级:第一等级为 $C \geq 5$ 、 $D_3 \geq 21$ 、 $RA \geq 2.6$ 的线段,占总数的 16.3%,主要分布在兰州、西宁、白银和定西等地;第二等级为 $5 > C > 2$ 、 $21 > D_3 > 6$ 、 $2.6 > RA \geq 1.2$ 的线段,占总数的 46.8%,主要分布在临夏、广河、和政、康乐、平安、乐都、永登、靖远和景泰等地;第三等级为 $C \leq 2$ 、 $D_3 < 6$ 、 $RA < 1.2$ 的线段,占总数的 36.6%,主要分布在除上述以外的地区。高值线段较少,中低值线段较多,路网线段连接存在显著等级差异(图 2a)。

3.2 轴线式空间

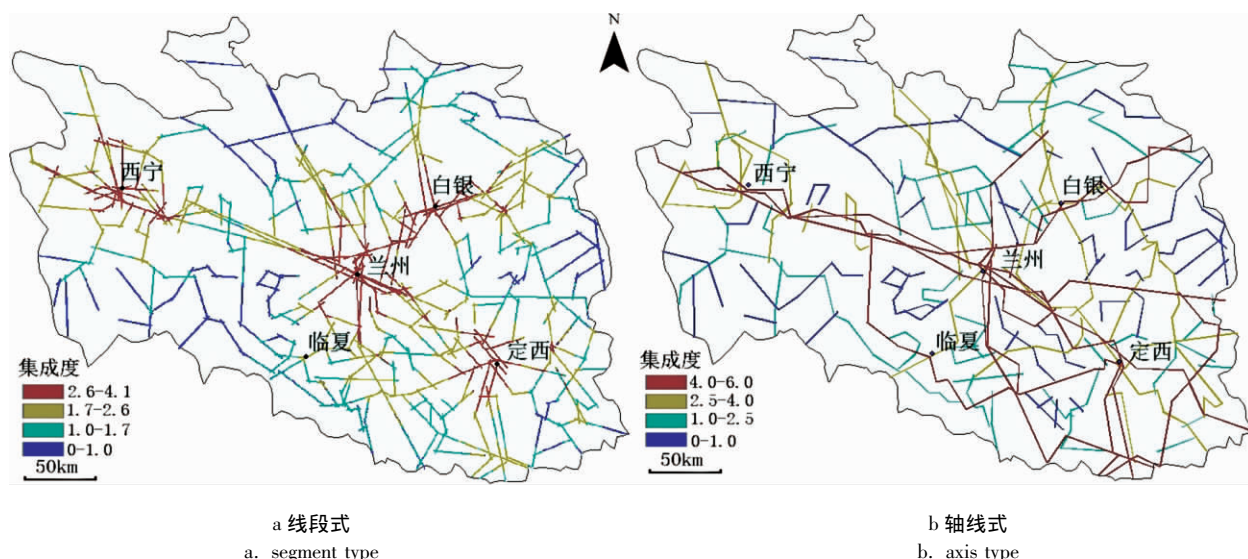


图2 空间句法集成度空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of integration level about space syntax

3.2.1 轴线式空间伸展格局呈“干-枝”状, 主次分明

区域交通主轴线主要以铁路、高速公路、国道为主, 其拓扑形成的轴线多为“树干”。树干两侧的集成度和低连接度轴线相连, 形成主干的“树枝”。控制能力较强的主轴线 ($C > 4$) 主要有东西向的陇海铁路、兰青铁路和青藏铁路, 京藏高速 (G6) 和青兰高速 (G22), 109 国道、309 国道和 312 国道; 南北向的包兰铁路和兰新铁路, 连霍高速 (G30)、兰海高速 (G75) 以及兰 (州) 中 (川) 机场高速、康 (家崖) 临 (夏) 高速 (系兰州至云南磨憨口岸西部大通道), 212 国道和 213 国道, 这些主轴线的技术参数和路况水平直接影响到整个路网的有效性和通达性。

3.2.2 各城市通达性空间差异明显, 初步形成三大等级圈层和“X”字型路网骨架

按照集成度可将区域轴线划分为 3 个等级: 第一等级 $RA \geq 4$, 以兰州为枢纽中心, 连接了区内其他 4 个节点城市, 构成了区域城际走廊。第二等级 $4 > RA \geq 2.5$, 多为通达性稍低的国道、省道以及部分高速公路, 连接区域外围城镇。第三等级 $RA < 2.5$, 多为通达性更低低等级省道和县道, 基本为剩余的与一、二等级相连的轴线, 连接区域边缘城镇。以兰州为中心, 一级轴线为主、辅之于部分二级轴线, 形成“X”字型路网骨架, 体现了其渗透性和中心性优势。

3.2.3 轴线等级分布与城镇体系、交通设施和社会经济发展状况密切相关

整个经济区交通轴线连接关系及通达性的等级空间分异特征与城市等级规模分布、高等级路网空间结构、城际社会经济发展水平等保持较高的一致性, 区域交通运输与城镇发展水平表现出较强的共轭协同发展关系。连接度、控制值、三步深度值和集成度较高的交通轴线主要依托铁路、高速公路等高等级路网形成放射状骨架, 其空间格局沿等级规模较大的兰州节点城市方向伸展, 这些方向也是城际社会经济交流和作用强烈的主要联系方向 (图 2b)。

4 城市空间通达性分析

把整个研究区域划分为若干个网格, 定义网格的大小为 $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$, 每一个网格的面积是 0.25 km^2 , 共有格网 33.0772×10^4 个。取城市点落入的格网中心作为区域节点。这里以兰州-西宁城市区域 5 个地级市 (州) 所在城市作为研究区域的节点, 计算每一个节点通过交通网络到达整个区域的最短通行时间, 即该节点的日常可达性, 并生成该节点的日常可达性等时圈扩散图。

4.1 中心城市等时圈

等时圈反映区域中心城市与周边区域空间联系的紧密程度, 3 h 圈被看作 1 d 交流圈, 反映以 1 d 为周期的经济高度联系地区^[18]。中心城市的等时圈连续且紧凑, 沿着国道、省道和县道向两侧扩散; 由于铁路和高速公路的特殊性, 铁路和高速公路呈一条细线状扩散, 其等时圈和周围地区等时圈断裂;

铁路站点和高速公路互通口作为次一级中心呈同心圆向外扩散,其等时圈空间特征多呈现“枝-叶”状。

4.1.1 等时圈沿国道、省道、县道扩散表现连续,沿封闭铁路、高速公路扩散出现跳跃

城镇密集地区铁路站点、高速公路互通口较多,与省道、国道、县道一样沿道路均匀、连续扩散;城镇稀疏地区铁路站点、高速公路互通口带来的城市可达范围变化优势明显,出现等时圈跳跃,单独形成等时圈“孤岛”。边缘城镇如南部的康乐、通渭和西部的湟中、湟源等,均成为其他主要城市等时圈的“孤岛”。火车和高速公路等快速交通对区域通达性影响显著,又由于封闭式行车,对有站点和互通口的城市通达性影响明显。快速交通使得城镇间时间距离缩短,时空收敛明显,3 h 可达范围扩大,可达人口增加,企业与市民可以获得更多社会经济活动机会。不少城镇由于快速交通的连接,进入省会城市兰州和西宁的 3 h 等时圈,加强了城镇之间的联系和交流,引导城镇体系空间重构。

4.1.2 中心城市区位差异较大,等时圈空间扩散性各异,兰州城市中心性凸显

兰州位于区域中心,路网密集。由于陇海铁路、兰新铁路、包兰铁路和兰青铁路、京藏高速(G6)、连霍高速(G30)、青兰高速(G22)、兰海高速(G75)以及兰(州)中(川)机场高速、康(家崖)临(夏)高速、109 国道、312 国道、309 国道、212 国道和 213 国道自兰州向周边的放射状分布,其 3 h 等时圈沿各个方向均匀扩散,其 1 h 等时圈扩散呈“八角星”型。西宁由于兰青铁路、京藏高速(G6)、109 国道与兰州的连接,其 3 h 等时圈东向扩散明显,其 1 h 等时圈扩散呈“三角星”型。白银由于包兰铁路、京藏高速(G6)、109 国道与兰州的连接,其 3 h 等时圈南向扩散明显,其 1 h 等时圈扩散呈斜倒“丁”字型。定西由于陇海铁路、连霍高速(G30)、312 国道与兰州的连接,其 3 h 等时圈东向扩散明显,其 1 h 等时圈扩散呈斜“四角星”型。临夏由于兰海高速(G75)以及康(家崖)临(夏)高速、309 省道(212 国道和 213 国道的连接线)及 212 国道、213 国道与兰州的连接,其 3 h 等时圈北向和西向扩散明显,其 1 h 等时圈扩散呈“三角星”型。总的来看,西宁、白银、定西、临夏等城市均围绕兰州呈现一定的向心性,兰州作为区域内最大城市,其区域核心地位明显突出。

4.1.3 中心城市 3 h 以内可达面积较大,边缘城市 3 h 以内可达面积较小

兰州、白银地处区域中心,且路网发达,1~3 h 可达面积随等时圈增加较快;3 h 可达面积约为 $7.31 \times 10^4 \text{ km}^2$,占区域面积的 31.54%。西宁、定西和临夏位于区域边缘,且路网较疏,1~3 h 可达面积随等时圈增加较慢;3 h 可达面积约为 $6.12 \times 10^4 \text{ km}^2$,占区域面积的 26.41%。兰州、西宁、白银、定西、临夏的 5 h 等时圈可覆盖区域内主要城镇;尤其是中心城市兰州,3 h 即可覆盖所有城市。如若优化周边城镇与兰州的交通,提高 3 h 可达面积,可提高其区域的竞争能力(图 3 和表 3)。

4.2 城镇的区域可达性及中心性

从等时圈中提取数据,以 5 个地级单元城市分别到区内其他 36 个县级单元城镇的时间作为基础数据进行日常可达性的计算,并生成日常可达性分值扩散图(图 4)。分值扩散图可以清楚的表明区域城镇之间的连接程度,分值越高,到其他所有城镇总时间越短。为了揭示城镇的区域可达性规律,在此借鉴张莉等^[19]的研究方法,引入城镇的中心性,建立可达性与中心性的拟合模型。利用 ArcGIS9.3 软件找到区域的几何中心,按照式(11)计算中心性

$$Q_i = \frac{D_i}{\sqrt{s/\pi}} \quad (11)$$

式中 Q_i 为区域中节点 i 的几何中心性, D_i 为节点 i 到区域几何中心的距离, s 为区域面积。并对几何中心性的数值进行归一化处理,将归一化后的数值在 SPSS 16.0 软件进行回归分析和模型拟合(图 5),相关系数为 0.768,模拟方程为

$$Y = e^{(4.422 - 8.932/x)} \quad (12)$$

式中 自变量 x 为几何中心性,因变量 Y 为区域可达性。

4.2.1 城镇区域可达性在较大程度上取决于区域中心性

城镇的区域中心性与区域可达性相关程度较高, Q 在 90 以上的城镇 A 均在 80 以上。区域中心位于兰州附近, A 为 88;区域中心周边的民和、红古、永靖等 A 也在 80 以上。通过研究可以发现,道路建设与优化对中心性较差城镇的可达性提升比中心性较好的城镇更快。低中心性城镇应建设与高中心性城市的快速交通,提升其相对中心性,弥补区位优势。

4.2.2 周边城镇较多和路网发达的城镇区域可达性值较高

区域可达性分值的高值区域在东西向密集交通

和区域中心性作用下东西向扩散明显。区域可达性较好城镇如临夏等,其中心性虽然稍差, Q 只有 68;但是周边城镇较多,到其他城镇的总时间花费较少, A 仍达到 80。榆中等中心性虽然稍差,仅为 69,但是周边路网较密,缩短了其到其他城镇的时间, A 仍在 74 左右。

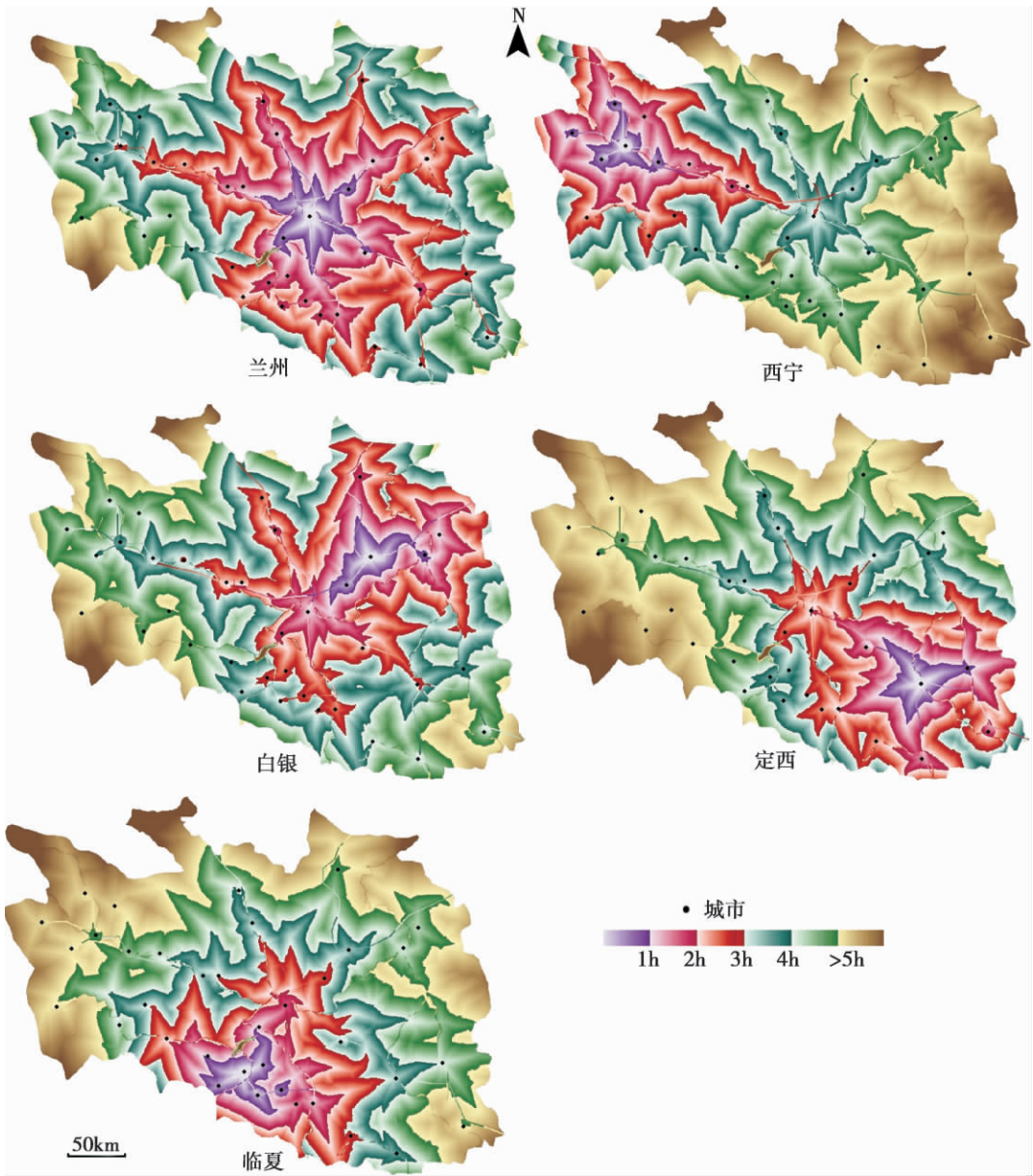


图 3 节点城市等时圈空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of isochronous ring for daily accessibility in node cities

表 3 节点城市等时圈面积分类

Table 3 The classification of area of isochronous ring for daily accessibility in node cities /km²

城市	< 1 h	1 ~ 2 h	2 ~ 3 h	3 ~ 4 h	4 ~ 5 h	> 5 h
兰州	3 002	16 679	42 175	63 676	76 576	82 691
西宁	1 774	9 273	17 754	29 125	46 888	82 693
白银	2 023	10 994	30 931	51 088	69 285	82 693
定西	2 272	10 728	25 782	41 161	57 075	82 694
临夏	2 093	7 916	17 683	30 423	52 575	82 692

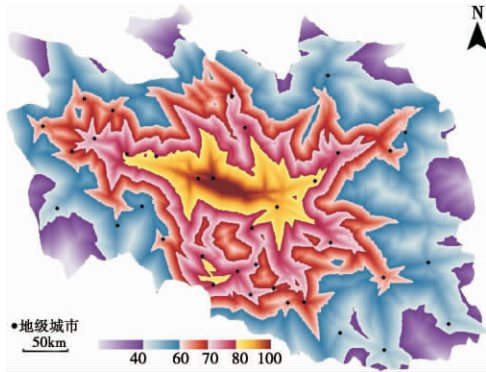


图4 区域日常可达性分值扩散图

Fig. 4 The spatial diffusion of mark for daily accessibility

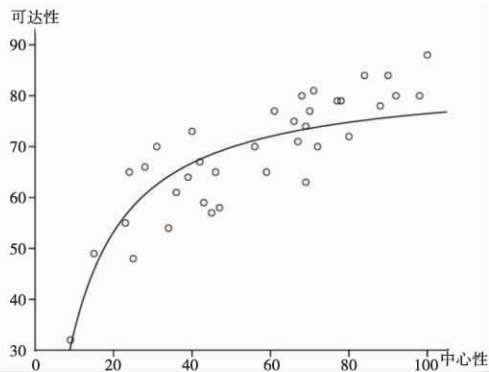


图5 拟合模型方程曲线

Fig. 5 The simulation curve of correlation model

4.2.3 中心城市得分较高,区域可达性等级差异较小;边缘城市得分较低,区域可达性等级差异较大

地处区域核心地带的城镇整体分值较高,兰州、西宁、白银和临夏4个城市的A在70以上,邻近这些城市的其他14个城镇的A在70~90间,区域可达性等级差异较小。位于区域外围地带的城镇整体分值偏低,区域边缘的18个城镇的A在30~70间,区域可达性等级差异较大(表4)。

5 区域通达性分析

5.1 区域通达度计算

利用城市等时圈将轴线进行分类,1 h范围内通勤对城市发展影响较大,因而提取城市1 h范围内的轴线,以不同交通工具通行成本的倒数为轴线权重,按照式(13)计算通达度并进行归一化处理。将城市作为特征点,插入特征点通达度,在区域上形

成连续的通达度面而进行分析(表5)。为使分析更为精确,在此选取区域内所有县(市、区)单元城镇作为特征点,共计36个特征点。其特征点通达度为

$$M = \sum_{n=1}^m f_n \times W_n \tag{13}$$

式中 M 为特征点通达度, m 为交通类型数,这里取值为5, f_n 为第 n 种交通拓扑的轴线权重, W_n 为第 n 种交通拓扑的轴线集成度之和。

5.2 区域通达度

5.2.1 城市0.5 h圈内包含所有主要轴线,1 h圈内轴线连接所有城市

从区域内节点城市出发,0.5 h圈内基本包括主要交通轴线。兰州、西宁被0.5 h轴线围绕,西宁周边0.5 h轴线形成回路,连接平安、乐都、互助、湟源和湟中;西宁0.5 h轴线起自湟源止于乐都;民和、红古0.5 h轴线仅依附于连接西宁和兰州的长轴线,节点路网体系发育不够充分;兰州、西宁方向和兰州、白银方向0.5 h轴线密集重叠;区域南部0.5 h轴线稀松且头尾相连,连接较长。1 h圈内轴

表4 兰州-西宁城市区域36个城镇的区域可达性和中心性

Table 4 Regional accessibility and geometric centrality of 36 cities or towns in Lanzhou-Xining city region

名称	可达性	中心性	名称	可达性	中心性	名称	可达性	中心性	名称	可达性	中心性
兰州	88	100	乐都	81	71	康乐	65	59	渭源	55	34
西宁	73	40	会宁	55	23	尖扎	58	47	永靖	80	92
白银	77	70	湟中	70	31	贵德	48	25	互助	67	42
定西	64	39	湟源	65	24	景泰	57	45	大通	66	28
临夏市	79	77	临夏县	80	68	积石山	79	78	民和	80	98
平安	77	66	陇西	49	15	和政	75	66	化隆	59	43
永登	78	88	广河	71	67	循化	63	69	平川	61	36
榆中	74	69	通渭	32	9	临洮	70	56	红古	84	97
皋兰	84	84	东乡	72	80	靖远	65	46	天祝	70	72

表 5 特征点通达度分值

Table 5 Mark of regional accessibility to feature points of 36 cities or towns in Lanzhou - Xining city region

地名	通达分值	地名	通达分值	地名	通达分值	地名	通达分值
兰州	55.20	乐都	19.04	积石山	8.56	渭源	9.36
西宁	36.27	会宁	9.73	尖扎	7.22	永靖	17.42
白银	26.50	湟中	15.41	贵德	7.44	互助	10.64
定西	23.42	湟源	12.16	景泰	11.67	大通	10.83
临夏市	14.21	通渭	10.12	康乐	7.64	民和	17.73
平安	21.69	陇西	7.62	和政	13.58	化隆	7.32
永登	22.17	广河	12.45	循化	7.36	平川	19.39
榆中	17.32	临夏县	13.22	临洮	9.84	红古	18.21
皋兰	29.67	东乡	9.43	靖远	22.17	天祝	9.24

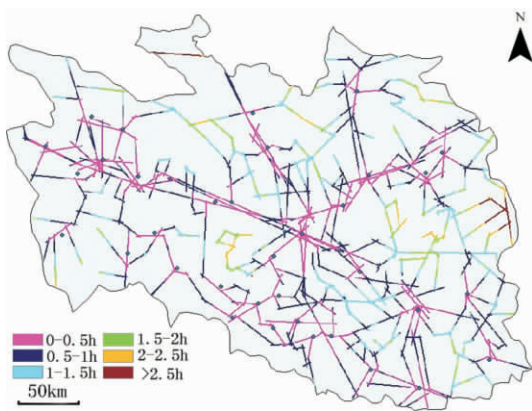


图 6 节点的轴线等时圈

Fig. 6 Isochronous ring of axes of node

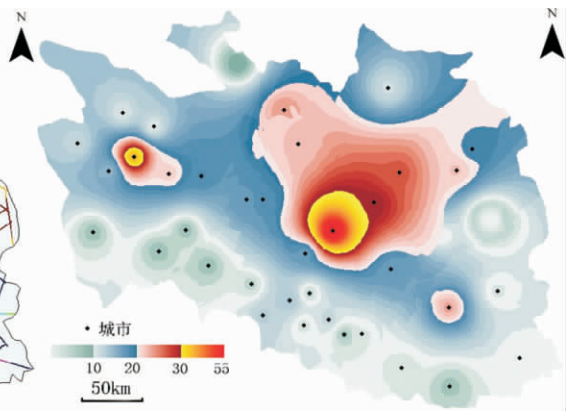


图 7 区域通达度空间分布

Fig. 7 The spatial distribution of region accessibility

线几乎连接所有城市。主要有西宁、兰州、定西、陇西、临夏、贵德、平安 1 h 轴线圈,兰州、永登 1 h 轴线,兰州、白银 1 h 轴线,白银、景泰 1 h 轴线,白银、靖远、平川 1 h 轴线圈(图 6)。

5.2.2 区域通达度空间分布各异,高值区具有跳跃性,低值区具有连片性,中值区东北和西北向带状明显

区域通达性差异极其显著,出现极高值区和极低值区;兰州与西宁通达度中高值区出现断裂,区域南部通达度极低值区连片成带。核心区域 $M > 20$ 的区域覆盖了兰州、白银附近一些城镇以及西宁、定西,在空间上呈破碎的块状分布。边缘区域 $M < 20$ 的区域覆盖了区域北部和南部的大部分城镇,在空间上呈连片的面状分布。兰州、白银一带的永登、皋兰、靖远进入中值区,在空间上呈带状向东北和西北由高往低逐渐扩散。

5.2.3 区域通达度等级差异明显,兰州地区通达度

极化严重

区域通达度等级差异明显,整体呈现北高南低,东高西低;中心高,外围低;区域通达度均衡性较差。兰州地区通达度极化严重, M 高达 55.02,而位居第二的西宁 M 仅为 36.27, M 值兰州远超西宁 19.73。 M 最小的尖扎仅有 7.22,为兰州的 1/8,西宁的 1/5。区域 M 均值为 15.7,距兰州最高值相差 40 左右(图 7)。

6 结论与讨论

6.1 结论

1. 区域路网体系较为完善,路网线段集聚相对明显。线段式空间伸展格局呈“点-轴”状,轴线性空间伸展格局呈“干-枝”状,初步形成核心、过渡、外围三大等级圈层以及“X”字型路网骨架。路网线段连接的均衡性稍弱,但路网伺服能力尚能匹配。

整个经济区交通轴线连接关系及通达性的等级空间分异特征与城镇等级规模分布、高等级路网空间结构、城际社会经济发展水平等保持较高的一致性,区域交通运输与城镇发展水平表现出较强的共轭协同发展关系。

2. 等时圈沿国道、省道、县道扩散表现连续,沿封闭铁路、高速公路扩散出现跳跃,其等时圈空间特征多呈现“枝-叶”状。城镇日常可达性在较大程度上取决于区域中心性、周边路网发达程度和城镇密集程度,区域路网单中心极化现象比较明显,兰州市对整个区域路网的控制作用较为突出。兰州地区应优化路网等级,构建绕城高速和环状路网,实现路网交通的适度分流,提高路网的整体水平和效率。

3. 区域通达度空间分布各异,核心板块破碎而外围板块连片。区域通达性差异极其显著,出现极高值区和极低值区;兰州和西宁通达度中高值区出现断裂,区域南部通达度极低值区连片成带。因此,应当加快兰州-西宁高等级快速交通建设,推进兰州-西宁区域一体化进程;建设兰成铁路和兰州至云南磨憨口岸高速通道,培育临夏为南部区域性中心城市。

6.2 讨论

截止目前,基于陆路交通网空间通达性的研究成果绝大多数侧重在宏观的全国尺度,中观的区域尺度的研究也较为集中在东部发达地区,有关兰州-西宁城市区域陆路交通网空间通达性的相关研究尚不多见。因此,上述研究结论与其他分析结论的相互比较暂时尚存一定难度。但是,区域地质地貌的基本态势、交通网络的宏观走势、城镇体系的空间格局以及规划和在建的基础设施项目布局均在较大程度上支撑或佐证上述研究结论。即便如此,在这一领域需要进一步深化和细化的方面依然很多。特别需要指出的是亟待强化基于区域陆路交通网空间通达性之上的人流、物流以及资金流、信息流、技术流等流量经济的研究,以便在这一研究框架下充实和完善实体经济的具体内容,使研究成果更具针对性和可操作性。

参考文献(References)

- [1] Roger S L, Scott D. Accessibility and the Irish Islands[J]. Journal of Geographical Association, 1996, 81(357): 111-119
- [2] Handy S L, Niemeier D A. Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives[J]. Environment and Planning A, 1997, 29(7): 1175-1194
- [3] Roger V L, Spiekermann K. Accessibility and economic development in Europe[J]. Regional Studies, 1999, 33(1): 1-15
- [4] Geurs K, Wee B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions[J]. Journal of Transport Geography, 2004, 12(2): 127-140
- [5] Jin Fengjun, Wang Jiao'e. Railway network expansion and spatial accessibility analysis in China: 1906-2000[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(2): 293-302 [金凤君, 王娇娥. 20 世纪中国铁路网扩展及其空间通达性[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 293-302]
- [6] Jiang Haibing, Xu Jiangang, Qi Yi. The influence of Beijing-Shanghai high-speed railways on land accessibility of regional center cities[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(10): 1287-1298 [蒋海兵, 徐建刚, 祁毅. 京沪高铁对区域中心城市陆路可达性影响[J]. 地理学报, 2010, 65(10): 1287-1298]
- [7] Baxter R S, Leniz G. The measurement of relative accessibility[J]. Regional Studies, 1975, 9(1): 15-26
- [8] Kirby H R. Accessibility indices for abstract road networks[J]. Regional Studies, 1976, 10(4): 479-482
- [9] Hansen W G. How accessibility shapes land-use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25(2): 73-76
- [10] Keeble D, Owens P L, Thompson C. Regional accessibility and economic potential in the European community[J]. Regional Studies, 1981, 16(6): 419-432
- [11] Wheeler D C, O'Kelly M E. Network topology and city accessibility of the commercial Internet[J]. Professional Geographer, 1999, 51(3): 327-339
- [12] O'Kelly M E, Grubisic T H. Backbone topology, access and the commercial internet, 1997-2000[J]. Environment and Planning B, 2002, 29(4): 533-552
- [13] Liu Hailong, Bao Anming, Chen Xi, et al. The effect of transport accessibility on regional economic performance[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(4): 428-436 [刘海隆, 包安明, 陈曦, 等. 新疆交通可达性对区域经济的影响分析[J]. 地理学报, 2008, 63(4): 428-435]
- [14] Chen Mingxing, Shen Fei, Zha Liangsong, et al. A research on urban traffic network based on space syntax: a case study on Wuhu City[J]. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(2): 39-42 [陈明星, 沈非, 查良松, 等. 基于空间句法的城市交通网络特征研究——以安徽省芜湖市为例[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(2): 39-42]
- [15] Cheng Changxiu, Zhang Wenchang, Chen Jie, et al. Evaluating the accessibility about Beijing's subways in 2008 based on spatial syntax[J]. Geo-Information Science, 2007, 9(6): 31-35 [程昌秀, 张文尝, 陈洁, 等. 基于空间句法的地铁可达性评价分析: 以 2008 年北京地铁规划图为例[J]. 地球信息科学, 2007, 9(6): 31-35]
- [16] Xu Di, Lu Yuqi. Impacts of the trunk highway system on accessibility of the municipalities in Jiangsu[J]. Economic Geography, 2004, 24(6): 830-833 [徐的, 陆玉麒. 高等级公路网建设对区域可达性的影响——以江苏省为例[J]. 经济地理, 2004, 24(6): 830-833]
- [17] Yang Tao. The complexity of urban space[J]. Urban Design, 2007,

- (8): 92–95 [杨滔. 城市空间之复杂效应[J]. 世界建筑, 2007, (8): 92–95]
- [18] Lu Feng, Chen Jie. Location superiority and accessibility analysis on Wuhan Metropolitan Region [J]. *Progress in Geography*, 2008, 27(4): 68–74 [陆峰, 陈洁. 武汉城市圈城市区位与可达性分析[J]. 地理科学进展, 2008, 27(4): 68–74]
- [19] Zhang Li, Lu Yuqi. Assessment on region accessibility based on land transportation network: a case study of the Yangtze River Delta [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(12): 1235–1246 [张莉, 陆玉麒. 基于陆路交通网的区域可达性评价——以长江三角洲为例[J]. 地理学报, 2006, 61(12): 1235–1246]

Analysis on Spatial Accessibility Based on Land Transportation Network:

A Case Study of Lanzhou – Xining City Region

BAI Yongping, WU Changyan, CHEN Bowen

(School of Geography and Environment, Northwest Normal University 967 Anning Eastroad, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Accessibility is a research topic in the field of human geography, urban and regional planning, and transportation economics. With rapid increasing of application demands and unceasing development of technology researches, accessibility measurement approaches also develop swiftly and the methodology is being formed. This paper attempts to combine nodes, axes and area to elaborate accessibility in Lanzhou – Xining city region. Based on space syntax, daily accessibility and isochronous rings according to calculation of feature points, the spatial pattern of accessibility of road network are evaluated synthetically in multi-angle. The result shows: (1) The system of road network is better, and the concentration of road network is obvious. The spatial pattern of segment type stretches along the “point-axis” style while the spatial pattern of axis type stretches along the “trunk-branch” shape. Core ring, transition ring, and periphery ring of three grade level as well as “X” shape of road network is preliminary form. It is shown to have a strong reciprocal-coordinate relationship between regional accessibility pattern and the entire development level of Lanzhou – Xining city region. (2) Spatial diffusion of isochronous ring along the national road, provincial road, and county road is continuous while Spatial diffusion of isochronous ring along close railway and highway is leaps, which results in spatial characteristics of isochronous ring show “branch-leaf” shape. Urban daily accessibility, to a great extent, depends on the regional geometric centre, the development level of the surrounding road network and intensive degree of urban or town. It is obviously for regional road network to polarization of single-center. The control action of Lanzhou city to the road network is apparent. (3) The spatial distribution of regional accessibility is different, so that the fragmentation of the core plate is obvious and the continuity of the extend plate is apparent. The regional accessibility is an extremely significant difference so that appear extremely high value zone and very low value zone. The area with value of medium or high is broken between Lanzhou area and Xining area, and the southern area with value of extremely low become into contiguous zone. Therefore, it is urgent for realization of moderate diversion of traffic flow to accelerate construction of belt highway and ring network in Lanzhou area, and it is useful for regional integration of Lanzhou – Xining city region to promote construction of Lanzhou – Xining high-grade rapid transit, and it is necessary for Linxia city as the southern regional center to promote construction of Lanzhou – Chengdu railway and Lanzhou – Mohan highway.

Key words: spatial accessibility; road network; space syntax; daily accessibility; isochronous rings according to algorithm of feature points; Lanzhou – Xining city region